

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09097921 A**

(43) Date of publication of application: **08 . 04 . 97**

(51) Int. Cl.

H01L 33/00
H01L 21/205

(21) Application number: **07213280**

(22) Date of filing: **22 . 08 . 95**

(30) Priority: **21 . 07 . 95 JP 07185877**

(71) Applicant: **SUMITOMO CHEM CO LTD**

(72) Inventor: **IECHIKA YASUSHI**
ONO YOSHINOBU
TAKADA TOMOYUKI

(54) **MANUFACTURE OF III-V COMPD.**
SEMICONDUCTOR

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a manufacturing method of a high-quality and high-uniformity III-V compd. semiconductor whereby the brightness and light emitting efficiency of a light-emitting element can be elevated and production yield of this element can be improved.

SOLUTION: A III-V compd. expressed by a general formula

$\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$ ($x+y+z=1$, x , y and z , each ranging from 0 to 1 inclusive) is grown from a starting material composed of a group III organic metal compd. and compd. having N in molecules in a reactor tube by the organic metal vapor deposition method. In this manufacturing method, before growing this semiconductor, a first layer expressed by a general formula $\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ ($a+b=1$, $0 < a < 1$ or $0 < b < 1$) is grown at a rate of 500deg./min or less and then said semiconductor is grown at a temp. lower than the growth temp. of the first layer.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-97921

(43)公開日 平成9年(1997)4月8日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01L 33/00 21/205			H01L 33/00 21/205	C

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全7頁)

<p>(21)出願番号 特願平7-213280</p> <p>(22)出願日 平成7年(1995)8月22日</p> <p>(31)優先権主張番号 特願平7-185377</p> <p>(32)優先日 平7(1995)7月21日</p> <p>(33)優先権主張国 日本(JP)</p>	<p>(71)出願人 000002093 住友化学工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号</p> <p>(72)発明者 家近 泰 茨城県つくば市北原6 住友化学工業株式 会社内</p> <p>(72)発明者 小野 善伸 茨城県つくば市北原6 住友化学工業株式 会社内</p> <p>(72)発明者 高田 朋幸 茨城県つくば市北原6 住友化学工業株式 会社内</p> <p>(74)代理人 弁理士 久保山 隆 (外1名)</p>
---	--

(54)【発明の名称】 3-5族化合物半導体の製造方法

(57)【要約】

【課題】発光素子の輝度、発光効率を高めることができ、発光素子の製造歩留りを向上できる均一性に優れ高品質の3-5族化合物半導体の製造方法を提供する。

【解決手段】一般式 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$ (ただし、 $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$)で表される3-5族化合物半導体を、3族有機金属化合物と分子中にNを有する化合物とを原料とし、有機金属気相成長法により反応管内で成長させて製造する方法において、該3-5族化合物半導体を成長させる前に一般式 $\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ (ただし、 $a+b=1$ 、 $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b < 1$)で表される第1の層を500Å/分以下の成長速度で形成し、次に第1の層の成長温度以下の温度で該3-5族化合物半導体を成長させる工程を含むことを特徴とする3-5族化合物半導体の製造方法。

【特許請求の範囲】

【請求項1】一般式 $\text{In}_x \text{Ga}_y \text{Al}_z \text{N}$ （ただし、 $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ）で表される3-5族化合物半導体を、3族有機金属化合物と分子中にNを有する化合物とを原料とし、有機金属気相成長法により反応管内で成長させて製造する方法において、該3-5族化合物半導体を成長させる前に一般式 $\text{Ga}_a \text{Al}_b \text{N}$ （ただし、 $a+b=1$ 、 $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b < 1$ ）で表される第1の層を500Å/分以下の成長速度で形成し、次に第1の層の成長温度以下の温度で該3-5族化合物半導体を成長させる工程を含むことを特徴とする3-5族化合物半導体の製造方法。

【請求項2】第1の層の層厚が50Å以上1μm以下であることを特徴とする請求項1記載の3-5族化合物半導体の製造方法。

【請求項3】3-5族化合物半導体の層厚が5Å以上90Å以下であることを特徴とする請求項1または2記載の3-5族化合物半導体の製造方法。

【請求項4】3-5族化合物半導体に含まれるSi、Ge、Mg、ZnおよびCdの各元素の濃度がいずれも $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項1、2、3または4記載の3-5族化合物半導体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は3-5族化合物半導体の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、青色の発光ダイオード（以下、LEDと記すことがある。）等の発光素子として一般式 $\text{In}_x \text{Ga}_y \text{Al}_z \text{N}$ （ただし、 $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ）で表される3-5族化合物半導体を用いたものが利用されている。該化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高いこと、In濃度により黄色から紫、紫外線領域までの発光波長で発光可能であることから、特に短波長発光素子用材料として有用である。

【0003】ところが、該化合物半導体はバルク成長では良好な結晶が得られないため、該化合物半導体そのものを基板として用いるホモエピタキシャル成長は困難である。このため該化合物半導体の結晶成長用基板としては、サファイア、ZnO、GaAs、Si、SiC等が用いられ、なかでもサファイア基板が良好な結晶が得られるためよく用いられる。このように成長させる結晶と基板が異なる成長をヘテロエピタキシャル成長という。しかしながらヘテロエピタキシャル成長では、基板と結晶との間の格子定数差、熱膨張係数差等によりホモエピタキシャル成長に比べて均一性に優れた結晶品質のよい化合物半導体を得られず、発光効率の高い発光素子を製造する上で大きな問題となっていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、発光素子の輝度、発光効率を高めることができ、発光素子の製造歩留りを向上できる均一性に優れた高品質の3-5族化合物半導体の製造方法を提供することにある。

【0005】

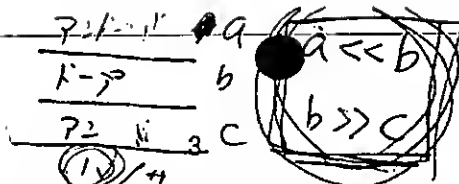
【課題を解決するための手段】本発明者らは、3-5族化合物半導体の成長方法について鋭意検討の結果、500Å/分以下の成長速度で成長した層の上に、発光層を含む積層構造を形成すると、該発光層の均一性が向上し、発光素子の輝度、発光効率が向上することを見だし、本発明に至った。

【0006】すなわち、本発明は（1）一般式 $\text{In}_x \text{Ga}_y \text{Al}_z \text{N}$ （ただし、 $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ）で表される3-5族化合物半導体を、3族有機金属化合物と分子中にNを有する化合物とを原料とし、有機金属気相成長法により反応管内で成長させて製造する方法において、該3-5族化合物半導体を成長させる前に一般式 $\text{Ga}_a \text{Al}_b \text{N}$ （ただし、 $a+b=1$ 、 $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b < 1$ ）で表される第1の層を500Å/分以下の成長速度で形成し、次に第1の層の成長温度以下の温度で該3-5族化合物半導体を成長させる工程を含むことを特徴とする3-5族化合物半導体の製造方法に係るものである。以下、本発明を詳細に説明する。

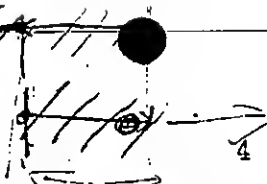
【0007】

【発明の実施の形態】3-5族化合物半導体の製造方法としては、分子線エビタキシー（以下、MBEと記すことがある。）法、有機金属気相成長（以下、MOVPEと記すことがある。）法、ハイドライド気相成長（以下、HVPEと記すことがある。）法などが用いられている。このうちMOVPE法とは、常圧あるいは減圧中に置かれた基板を加熱して、3族元素を含む有機金属化合物と5族元素を含む原料を気相状態で供給して、基板上で熱分解反応をさせ、半導体膜を成長させる方法である。MOVPE法は、大面積に均一で高品質な該3-5族化合物半導体が成長できる点で有用である。本発明の3-5族化合物半導体の製造方法は、該MOVPE法による。

【0008】本発明の3-5族化合物半導体の製造方法では、3族原料としては、トリメチルガリウム〔 $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ 、以下TMGと記すことがある。〕、トリエチルガリウム〔 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Ga}$ 、以下TEGと記すことがある。〕等の一般式 $\text{R}_1 \text{R}_2 \text{R}_3 \text{Ga}$ （ここで R_1 、 R_2 、 R_3 は低級アルキル基を示す。）で表されるトリアルキルガリウム；トリメチルアルミニウム〔 $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ 〕、トリエチルアルミニウム〔 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Al}$ 、以下TEAと記すことがある。〕、トリイソブチルアルミニウム〔 $(i\text{-C}_4\text{H}_9)_3\text{Al}$ 〕等の一般式 $\text{R}_1 \text{R}_2 \text{R}_3 \text{Al}$ （ここで R_1 、 R_2 、 R_3



(3)



は低級アルキル基を示す。)で表されるトリアルキルアルミニウム;トリメチルアミンアラン〔 $(\text{CH}_3)_3\text{N}:\text{AlH}_3$ 〕;トリメチルインジウム〔 $(\text{CH}_3)_3\text{In}$ 、以下TMIと記すことがある。〕、トリエチルインジウム〔 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{In}$ 〕等の一般式 $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{In}$ (ここで R_1 、 R_2 、 R_3 は低級アルキル基を示す。)で表されるトリアルキルインジウム等があげられる。これらは単独または混合して用いられる。

【0009】次に、5族原料としては、アンモニア、ヒドラジン、メチルヒドラジン、1、1-ジメチルヒドラジン、1、2-ジメチルヒドラジン、 t -ブチルアミン、エチレンジアミンなどが挙げられる。これらは単独または混合して用いられる。これらの原料のうち、アンモニアとヒドラジンは分子中に炭素原子を含まないため、半導体中への炭素の汚染が少なく好適である。

【0010】次に、該3-5族化合物半導体の p 型不純物としては、2族元素が有用である。具体的には Mg 、 Zn 、 Cd 、 Hg 、 Be が挙げられるが、このなかでは低抵抗の p 型のものがつくりやすい Mg が好ましい。 Mg 不純物の原料としては、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム、ビスメチルシクロペンタジエニルマグネシウム、ビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム、ビス n -プロピルシクロペンタジエニルマグネシウム、ビス i -プロピルシクロペンタジエニルマグネシウム等の一般式 $(\text{RC}_5\text{H}_4)_2\text{Mg}$ (ここで R は H または炭素数1以上4以下のアルキル基を示す。)で表される有機金属化合物が適当な蒸気圧を有するために好適である。

【0011】次に、該3-5族化合物半導体の n 型不純物としては、4族元素と6族元素が有用である。具体的には Si 、 Ge 、 O が挙げられるが、この中では低抵抗の n 型がつくりやすく、原料純度の高いものが得られる Si が好ましい。 Si 不純物の原料としては、シラン(SiH_4)、ジシラン(Si_2H_6)などが好適である。

【0012】結晶成長用基板としては、サファイア、 ZnO 、 GaAs 、 Si 、 SiC 、スピネル(MgAl_2O_4)、 NGO (NdGaO_3)等が好ましいが、特にサファイア基板が透明かつ大面積で良好な結晶が得られるため好ましい。

【0013】本発明における第1の層は一般式 $\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ (ただし、 $a+b=1$ 、 $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b < 1$)で表される層である。3族元素に In を含む組成の場合には、高品質の結晶の成長が困難で、本発明の効果を得られないので好ましくない。本発明における第1の層の成長速度は、 $500\text{\AA}/\text{分}$ 以下であり、好ましくは $10\text{\AA}/\text{分}$ 以上 $500\text{\AA}/\text{分}$ 以下である。 $500\text{\AA}/\text{分}$ よりも大きいと、結晶品質が低下し本発明の効果を得ることができず好ましくない。また、 $10\text{\AA}/\text{分}$ よりも小さいと、成長に時間がかかり実用的でない。本発明にお

ける第1の層の好適な成長温度は、 700°C 以上 1200°C 以下であり、さらに好ましくは 900°C 以上 1200°C 以下、特に好ましくは 1000°C 以上 1200°C 以下である。 700°C より低いと結晶品質が低下し好ましくなく、また 1200°C より高いと反応炉の材質が熱的に変化する場合があります、やはり結晶品質が低下するため好ましくない。

【0014】本発明における第1の層の層厚の好適な範囲は 50\AA 以上 $1\mu\text{m}$ 以下である。 50\AA よりも薄いと、発光効率が低くなるので好ましくなく、また $1\mu\text{m}$ よりも厚いと成長に長時間を要し実用的でない。本発明における第1の層は、不純物を高濃度にドーピングすると結晶性が低下するので、不純物濃度は低い方がよい。具体的には $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下が好ましく、 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下がさらに好ましい。

【0015】以下、本発明の3-5族化合物半導体の製造方法を用いて作製した発光素子の層構造を示す図1の例を用いて、本発明を説明する。該3-5族化合物半導体を用いて作製した発光素子においては、該3-5族化合物半導体からなる発光層5の下方に位置する層3は、成長の容易さから通常 n 型の導電性を持たせる。 n 型の層3は n 電極とコンタクトをとるため、できるだけ低抵抗である必要がある。このために n 型の層3には通常 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上の高濃度の n 型不純物をドーピングする。しかしながら、 n 型不純物の濃度を高くすると結晶品質が低下する。本発明においては、 n 型不純物濃度が高い層3であっても、その上に本発明における第1の層4を成長したのち、該3-5族化合物半導体からなる発光層を含む積層構造を成長することで発光素子の効率を上げることができる。図1の例では、本発明における第1の層4の上に直接発光層5を設けているが、この2つの層の間には、本発明の目的を損なわない範囲で、その他の層を形成してもよい。

【0016】ところで発光素子の発光効率を高める方法として、 p 型と n 型の半導体層の間に、発光層を挟み、発光層のバンドギャップよりも大きなバンドギャップを有する層が発光層の両側で接する構造とした、いわゆるダブルヘテロ構造を利用することが広く知られている。図1の例では、発光層5の両側は第1の層4と保護層6とで接しており、両層は発光層5よりもバンドギャップを大きくしたダブルヘテロ構造とすることが好ましい。本発明における3-5族化合物半導体で、ダブルヘテロ構造により、効率良く発光層に電荷を閉じ込めるためには、発光層5に接する2つの層のバンドギャップは発光層5のバンドギャップより 0.1eV 以上大きいことが好ましく、 0.3eV 以上大きいことがさらに好ましい。本発明における3-5族化合物半導体からなる発光層5としては、 In 組成が10%以上の該3-5族化合物半導体がバンドギャップを可視部にできるため表示用途に有用である。 Al を含むものは O 等の不純物を取り

込みやすく、発光層5として用いた場合、発光効率が下がる場合がある。このような場合には、発光層5としてはAlを含まない一般式 In_xGa_yN （ただし、 $x+y=1$ 、 $0<x\leq 1$ 、 $0\leq y<1$ ）で表されるものを利用することができる。

【0017】本発明において、第1の層の次に成長する、発光層として用いることができる3-5族化合物半導体の成長温度は、第1の層の成長温度以下であることを特徴とする。一般的には第1の層と同じ温度で成長してよいが、熱的安定性が十分でない場合には、第1の層よりも低い温度で成長することが好ましい。Inを含まない3-5族化合物半導体を用いた発光層の成長の場合の成長温度は、第1の層の成長温度以下であり、かつ好ましくは900℃以上1200℃以下である。Inを含む3-5族化合物半導体を用いた発光層の成長の場合の成長温度は、第1の層の成長温度以下であり、かつ好ましくは600℃以上900℃以下、さらに好ましくは650℃以上850℃以下である。該3-5族化合物半導体の成長温度が、第1の層の成長温度を超えると、該3-5族化合物半導体の結晶性が低下するので好ましくなく、特にInを含む該3-5族化合物半導体においては、Inの蒸気圧が大きいので、結晶からInが蒸発して、該3-5族化合物半導体の結晶性が低下し、組成制御が困難になるので好ましくない。

【0018】該3-5族化合物半導体の格子定数は、組成により大きく変化する。特に、InNの格子定数はGa_aNまたはAl_bNに対して約12%またはそれ以上大きい。このため、該3-5族化合物半導体の各層の組成によっては、層と層との間の格子定数に大きな差が生じることがある。大きな格子不整合がある場合、結晶に欠陥が生じる場合があり、結晶性を低下させる原因となる。格子不整合による欠陥の発生を抑えるためには、格子不整合による歪みの大きさに応じて層の厚さを小さくしなければならない。好ましい厚さの範囲は歪みの大きさに依存する。Ga_aAl_bN（ $0\leq a\leq 1$ 、 $0\leq b\leq 1$ 、 $a+b=1$ ）上にInを10%以上含む該3-5族化合物半導体を積層する場合には、Inを含む層の好ましい厚さは5Å以上500Å以下であり、さらに好ましい厚みの範囲は5Å以上90Å以下である。Inを含む層の厚さが5Åより小さい場合、発光効率が充分でなくなり、また500Åより大きい場合、欠陥が発生しやはり発光効率が充分でなくなるので好ましくない。発光層として機能する層は、1層でもよく、複数の層であってもよい。図1の例では発光層は1層であるが、発光層として機能する層が複数の層である例としては、2つ以上の発光層がこれよりバンドギャップの大きい層と積層されている構造が挙げられる。

【0019】発光素子に利用される発光には、ドーピングした不純物の発光を利用する不純物発光と、半導体のバンド間遷移を利用するバンド間発光がある。一般的に

不純物発光を利用した発光素子は、発光スペクトルの幅が広く、バンド間発光を利用した発光素子は、発光スペクトルの幅が狭いという特徴がある。また、不純物発光を利用した発光素子は原理的に高い発光効率を達成できず、高出力化が難しいという問題があるのに対し、バンド間発光を利用した発光素子は、原理的に高い発光効率が期待できる。しかし、バンド間発光は不純物発光よりも結晶性に敏感であるため、より高品質の結晶が必要である。本発明により、高品質の結晶を作製できることから、不純物発光でもバンド間発光でも利用できるが、不純物発光を用いる場合よりも、バンド間発光を用いる発光素子に対してその効果がより顕著である。

【0020】不純物発光の場合、発光波長は発光層の3族元素の組成と不純物元素により決まる。この場合、発光層のIn組成は5%以上が好ましい。In組成が5%より小さい場合、発光する光はほとんど紫外線であり、充分な明るさを感じることができない。In組成を増やすにつれて発光波長が長くなり、発光波長を紫から青、緑へと調整できる。不純物発光に適した不純物としては、2族元素が好ましい。2族元素のなかでは、Mg、Zn、Cdをドーピングした場合、発光効率が高いので好適である。特にZnが好ましい。これらの元素の濃度は、 $10^{18}\sim 10^{22}\text{ cm}^{-3}$ が好ましい。発光層はこれらの2族元素とともにSiまたはGeを同時にドーピングしてもよい。Si、Geの好ましい濃度範囲は $10^{18}\sim 10^{22}\text{ cm}^{-3}$ である。

【0021】バンド間発光による発光素子を実現するためには、発光層に含まれる不純物の量を低く抑えなければならない。具体的には、Si、Ge、Mg、ZnおよびCdの各元素について、濃度が 10^{19} cm^{-3} 以下が好ましく、さらに好ましくは 10^{18} cm^{-3} 以下である。バンド間発光の場合、発光色は第3の層の3族元素の組成で決まる。可視部で発光させる場合、In組成は10%以上が好ましい。In組成が10%より小さい場合、発光する光はほとんど紫外線であり、充分な明るさを感じることができない。In組成が増えるにつれて発光波長が長くなり、発光波長を紫から青、緑へと調整できる。

【0022】発光層がInを含む場合、熱的な安定性が充分でなく、結晶成長中、または半導体プロセスで劣化を起こす場合がある。このような発光層の劣化を防止する目的のために発光層と発光層の上のp型層の間に、図1における保護層6を入れる場合がある。充分な保護機能をもたせるためには、保護層6のIn組成は10%以下、Al組成は5%以上が好ましい。さらに好ましくはIn組成が5%以下、Al組成が10%以上である。保護層6の膜厚は10Å以上1μm以下が好ましい。保護層6の膜厚が10Åより小さいと充分な効果が得られない。また、1μmより大きい場合には発光効率が減少するので好ましくない。さらに好ましくは、50Å以上5000Å以下である。

【0023】

【実施例】以下、本発明を実施例に基づいてさらに詳細に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

実施例1

MOVPE法により図1に示す構造の3-5族化合物半導体を作製し、これから発光素子を作製した。基板としては25mm×25mmの大きさのサファイアC面を鏡面研磨したものを有機洗浄して用いた。成長は低温成長バッファ層を用いる2段階成長法によった。基板温度600℃で、水素をキャリアガスとし、TMGとアンモニアを供給して膜厚500ÅのGa₂Nのバッファ層2を形成した。次に基板温度を1100℃まで上げ、該バッファ層2の上に、TMGを流量1.0sccm、アンモニアを流量4slm、および濃度1ppmのシランガスを50sccm供給して、成長速度1000Å/分でSiを不純物とするn型キャリア濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、膜厚約3μmのGa₂N層3を成長した。さらに同じ温度でTMGを流量0.2sccm、アンモニアを4slm供給して、成長速度を200Å/分として、n型キャリア濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 、膜厚1500ÅのノンドープのGa₂N層4を成長した。

【0024】次に、基板温度を815℃まで下げ、キャリアガスを窒素に換え、TEG、TMIおよびアンモニアをそれぞれ0.04sccm、0.04sccm、4slm供給して、発光層であるIn_{0.2}Ga_{0.8}N層5を90秒間成長した。さらに、同じ温度にてTEG、TEAおよびアンモニアをそれぞれ0.032sccm、0.008sccm、4slm供給して、保護層であるGa_{0.8}Al_{0.2}N層6を10分間成長した。なお、この2層の層厚に関しては、同一の条件でさらに長い時間成長した層の厚さから求めた成長速度が33Å/分、30Å/分であるので、上記成長時間から求められる層厚はそれぞれ50Å、300Åである。

【0025】次に、基板温度を1100℃まで上げ、TMG、Cp₂Mg、およびアンモニアを供給してMgをドーパしたGa₂N層7を5000Å成長した。以上により作製した3-5族化合物半導体試料を反応炉から取り出したのち、窒素中で800℃、20分アニール処理を施し、MgをドーパしたGa₂N層を低抵抗のp型層にし

た。こうして得た試料に常法により電極を形成し、LED素子を作製した。LEDは2mm間隔に作製し、発光部は直径200μmの円状である。p電極としてNi-Au合金、n電極としてAlを用いた。LEDに順方向に電流を流したところ、プロセスの不具合によるものを除いて全て明瞭な青色発光を示した。最高輝度を示した素子は、発光ピーク波長4430Åで、20mAでの効率0.61%、輝度は131mcdであった。

【0026】比較例1

10 ノンドープ層の成長速度を200Å/分にかえて1000Å/分として作製したことを除いては、実施例1と同様に、比較用の3-5族化合物半導体、およびLEDを作製した。プロセスの不具合のあるLEDを除いて通電試験を行なったところ、発光パターンに不均一性が見られ、28個中3個のLEDが発光しなかった。発光したLEDのうち最高輝度を示した素子は、発光波長4155Åの青紫色発光を示したが、20mAでの発光効率は0.16%、輝度13mcdであった。図3に実施例1と比較例1で作製した試料のエピタキシャル基板面内の、プロセスの不具合によるものを除いたLEDの、順方向電圧10Vにおける電流値の分布を示す。実施例1の試料では、多くの素子が50mAから70mAの範囲の電流値を示すのに対し、比較例1の試料では、10mAから90mAまでの電流値を示し、分布が大きくなっている。この図から、本発明の製造方法によると、ウェーハ一面内の化合物半導体結晶の均一性が向上する効果があることがわかる。

【0027】実施例2、3、4

30 実施例1において、成長速度を200Å/分に小さくした層の厚さを、1500Åに代えて、100Å（実施例2）、300Å（実施例3）、1000Å（実施例4）としたこと以外は、実施例1と同様に、3-5族化合物半導体およびLEDを作製した。これらの試料について実施例1と同様に通電試験を行なったところ、均一性よく明瞭な青色の発光を示した。各試料における最高輝度を示した素子の、20mAでの効率、発光波長、輝度を表1に示す。

【0028】

【表1】

	低速成長層 の厚み (Å)	発光効率 (%)	発光波長 (Å)	輝度 (mcd)
実施例2	100	0.53	4255	53
実施例3	300	0.24	4230	27
実施例4	1000	0.52	4265	94

【0029】比較例2

ノンドープ層の層厚を1000Åにかえて2000Åとしたこと以外は、比較例1と同様にして比較用の3-5族化合物半導体、およびLEDを作製した。これに電流を流したところ、最高輝度を示した素子は、発光ピーク波長4200Åの青紫色発光を示したが、20mAでの発光効率は0.076%、輝度16mcdであった。図2にノンドープ層の層厚と、20mAでの発光効率の関係を示す。ノンドープ層の成長速度が200Å/分の場合の方が、1000Å/分の場合よりも高い発光効率を得られることがわかる。

【0030】

【発明の効果】本発明の3-5族化合物半導体の製造方法により、均一性に優れ結晶性に優れた3-5族化合物半導体を得ることができ、該化合物半導体を用いることにより、不純物発光のみならずバンド間発光を利用した発光素子の輝度および発光効率を向上でき、また歩留りよく発光素子を製造できる。特にダブルヘテロ構造を作製することにより、輝度および発光効率の向上した、ダブルヘテロ構造の発光素子が歩留りよく作製できるた

め、きわめて有用であり工業的価値が大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明により製造された3-5族化合物半導体を含む構造の1例を示す図。

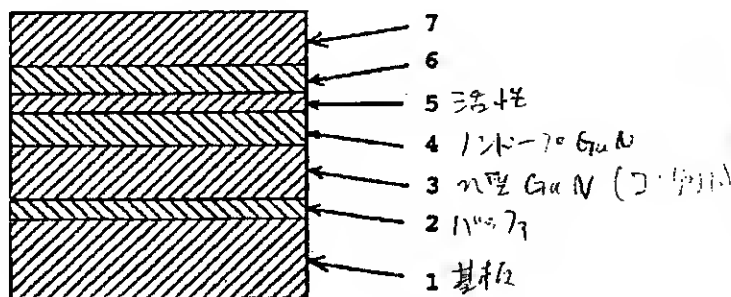
【図2】ノンドープ層の層厚と20mAでの発光効率の関係を示す図。

【図3】順方向電圧10Vにおける電流値の分布を示す図。

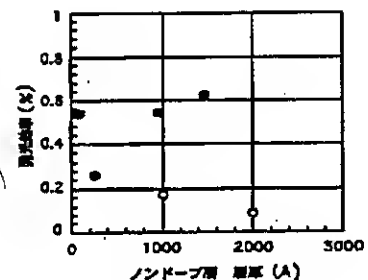
【符号の説明】

- 1……サファイア基板
- 2……GaNバッファ層
- 3……n型GaN:Si層
- 4……第1の層であるノンドープGaN層
- 5…… $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$ (ただし、 $x+y+z=1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$) 層 [発光層]
- 6…… $\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ ($0 \leq a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$, $a+b=1$) 層 [保護層]
- 7……p型GaN:Mg層

【図1】



【図2】



- 成長速度 200 Å/分
- 成長速度 1000 Å/分

【図3】

